

2K-H型遊星歯車機構の理論効率計算式*

(中間遊星ピニオンを有するII型遊星歯車機構)

岸 佐年**・両角 宗晴***

Efficiency Formulas for the 2K-H Type Planetary Gear Train

(A II Type Planetary Gear Train with an Idle Planet Pinion)

Satoshi KISHI and Muneharu MOROZUMI

A new 2K-H type planetary gear train with an idle planet pinion is devised. This planetary gear train consists of only spur gears. The function of this planetary gear train is equal to those of the internal 2K-H type planetary gear train and the bevel gear type planetary gear train. The efficiency formulas of this planetary gear train are derived from the theoretical analysis and tabulated. The formulas tabulated can be utilized safely without any understanding of the underlying theory.

1. 緒 言

遊星・差動歯車機構を設計する際には、速比の他に予め機構全体の理論効率値を計算により求め効率について十分に吟味しておくことが必要である。著者らは既に2K-H型・3K型・K-H-V型遊星・差動歯車機構の各型式についてその理論効率計算式を求めている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。そして2K-H型遊星・差動歯車機構の型式としては、太陽内歯車と太陽外歯車およびキャリアを基本軸としてこの内歯車と外歯車とに一つの遊星ピニオンがかみ合って機構が成立するI型、あるいは二つの太陽外歯車とキャリアを基本軸としこの二つの外歯車に一体化された二つの遊星ピニオンがそれぞれかみ合って機構が成立するII型などが一般的である。即ちII型は外歯車のみを用いて機構が成立している。この場合I型とII型とを比較すると、入力軸がそれぞれ同じ方向に回転すると出力軸は互いに異なる方向に回転する。またこの回転方向について注目すると、I型はかさ歯車を用いて成り立っている遊星・差動歯車機構と同種の型式の物と考えられ、かさ歯車を用いなくとも機構の目的を果たすことができるという利点の有ることが分かる。しかしI型は内歯車を用いているためにその高精度製品の製作が困難であるなどの不具合点も併せ持っている。

本研究ではこれらの問題点を克服するために、外歯車のみで機構が成立するII型の2K-H型遊星・差動歯車機構において、一体化された二つの遊星ピニオンの一方に対してさらに

* 平成元年10月28日 日本機械学会山梨地方講演会にて発表

** 機械工学科 助教授

*** 信州大学 名誉教授

原稿受付 平成元年9月26日

一つの間遊星ピニオンをかみ合わせさせることにより I 型と同じ機能を果たす改良型の遊星・差動歯車機構を考案した。そしてこの遊星歯車機構の場合について著者の一人が以前に示した効率の分かり易い計算法¹⁾を応用して速比と効率とを求める理論計算式を誘導した。そして読者がこれら理論計算式を使用する際にその適用を誤るおそれの無い便利な一覧表を作成した。

2. 基本軸の回転方向を考慮した 2K-H 型遊星歯車機構の分類

図 1 は太陽外歯車 A と太陽内歯車 C およびキャリア S を基本軸とする I 型の 2K-H 型遊星歯車機構を示し、内歯車を用いていることから機構全体をより小さくまとめ上げることができるという利点を持つ。また図 2 は太陽外歯車 A と太陽外歯車 C およびキャリア S を基本軸とする II 型の 2K-H 型遊星歯車機構を示し、外歯車のみを用いて機構が成り立つという利点を持つ。いま歯車 A および歯車 C の歯数を z_A , z_C で表してこの I 型と II 型の回転方向を比較すると、例えば歯車 C を固定し歯車 A を右方向から見て時計方向に回転させると、キャリア S の回転方向は I 型の場合は時計方向に II 型の場合は反時計方向にそれぞれ回転する。一方、図 3 に示すかさ歯車を用いた遊星歯車機構は回転方向のみに注目して考察すると図 1 に示す I 型の遊星歯車機構と同種の型式であることが分かる。このことから図 1 に示す I 型の遊星歯車機構はかさ歯車を用いなくとも図 3 に示すかさ歯車式遊星歯車機構と同様の機能を果たすという利点も有ることが分かる。しかしこの I 型は、高精度内歯車の製作の困難さなどの不具合点も併せ持っている。そこで回転機能においては図 1 および図 3 に示す遊星歯車機構と同等であり、しかも外歯車のみで機構が成立する遊星歯車機構の構成を考える。図 4 に示す 2K-H 型遊星歯車機構は図 2 に示す II 型の 2K-H 型遊星歯車機構において、外歯車 A と遊星ピニオン B_1 との間に中間遊星ピニオン D を

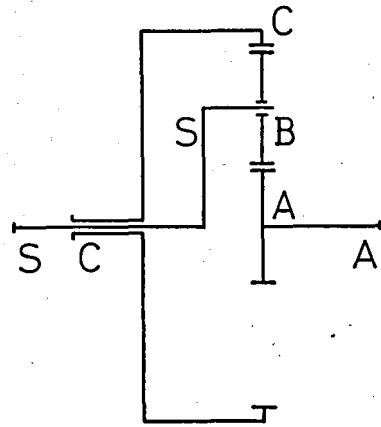


図 1 I 型 2K-H 型遊星歯車機構

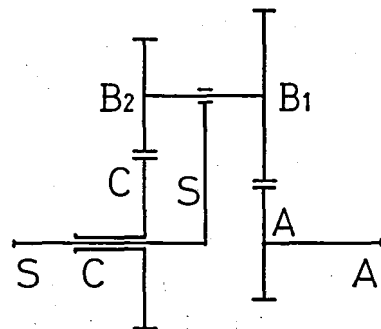


図 2 II 型 2K-H 型遊星歯車機構

挿入した物であり、回転機能はI型と同等であり外歯車のみを用いて機構が成立している。II型 2 K-H 型遊星歯車機構の改良型ということができる。

3. 改良II型 2K-H 型遊星歯車機構の速比と理論効率計算式の誘導

いま図4に示す改良II型 2 K-H 型遊星歯車機構において、歯車Cを固定し歯車Aを右方向から見て時計方向に角速度 $\omega_A (> 0)$ で駆動し、キャリアSを角速度 ω_S で従動させる場合を考える。この場合、歯車A, B₁, B₂, Cの歯数を $z_A, z_{B_1}, z_{B_2}, z_C$ で表す。そこで角速度を求めるための重ね合わせ法として表1を得る。

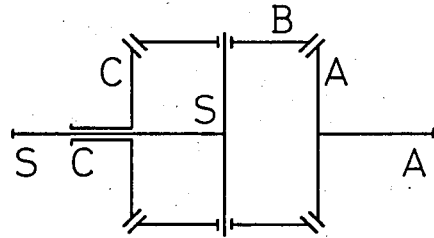


図3 かさ歯車式遊星歯車機構

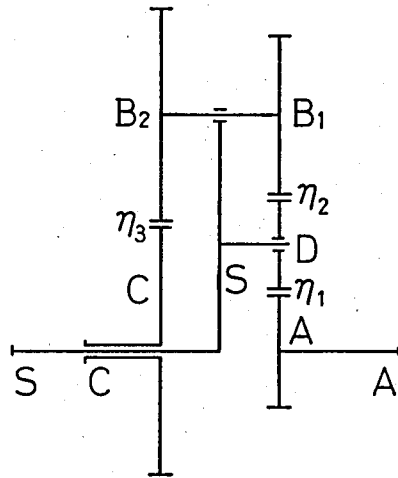


図4 改良II型遊星歯車機構

表1 重ね合わせ法による角速度の求め方

	A	D	B ₁ ・B ₂	C	S
全体を同時回転	ω_s	ω_s	ω_s	ω_s	ω_s
キャリア固定	$\omega_s \frac{z_C z_{B_1} z_D}{z_{B_2} z_D z_A}$	$-\omega_s \frac{z_C z_{B_1}}{z_{B_2} z_D}$	$\omega_s \frac{z_C}{z_{B_2}}$	$-\omega_s$	0
合計	$\omega_s \left(1 + \frac{z_C z_{B_1}}{z_{B_2} z_A}\right)$	$\omega_s \left(1 - \frac{z_C z_{B_1}}{z_{B_2} z_D}\right)$	$\omega_s \left(1 + \frac{z_C}{z_{B_2}}\right)$	0	ω_s

この表1より次式を得る。

$$\omega_A = \omega_S \left(1 + \frac{z_C z_{B1}}{z_A z_{B2}} \right) = \omega_S (1 + i_A) \quad (1)$$

$$\therefore u = \frac{\omega_S}{\omega_A} = \frac{1}{1 + i_A} \quad (2)$$

ただし i_A は次式で与えられる.

$$i_A = \frac{z_C z_{B1}}{z_A z_{B2}} \quad (3)$$

この式(2)よりキャリアSは歯車Aと同方向(正方向)に回転することが分かる. いま軸A, C, Sに作用するトルクを M_A, M_C, M_S で表し, 駆動側は軸に作用するトルクと角速度とが同方向に作用し, 従動側は軸に作用するトルクと角速度とが反対方向に作用することを考慮すると, M_A と M_S との方向は逆方向であることが分かり図5に示すように定まる. 次に固定トルク M_C の方向を求めるためにキャリア固定の場合を考える. そこで表1のキャリア固定の欄を用いると歯車Cは歯車Aとは逆方向に回転することが分かり, 従って M_C の方向は M_A と同方向であることが分かり図5のように定まる. この図5からトルクの釣合式として次式を得る.

$$M_A + M_C - M_S = 0 \quad (4)$$

そしてこの場合の機構の効率を η とすれば次式で表される.

$$\eta = \frac{M_S}{M_A} \left| \frac{\omega_S}{\omega_A} \right| = \frac{M_S}{M_A} u = \frac{M_S}{M_A} \frac{1}{1 + i_A} \quad (5)$$

次に表1において“合計”の欄に示される運動をする機構全体に, キャリアの回転方向と反対方向の角速度 ($-\omega_S$) を与えてキャリアを固定した場合の運動が“キャリア固定”の欄に示してあり, これら“合計”の欄と“キャリア固定”の欄との運動を比較すると, いずれも各要素に作用する力も各要素間の相対運動も変わりがないと考えられ, 従ってかみ合い損失には変わりがないことが分かる. そこで“キャリア固定”の欄に注目すると, 歯車Aの角速度は $\omega'_A = \omega_S(z_{B1}z_C)/(z_A z_{B2}) > 0$ で正方向であり, 歯車Cの角速度は $\omega'_C = -\omega_S < 0$ で負方向である. そしてトルクの作用方向と角速度の方向とが互いに同方向のものを駆動側, 互いに逆方向のものを従動側と考えると, この場合 M_A は正方向, M_C も正方向であるから, $M_A \omega'_A > 0$ となりまた $M_C \omega'_C < 0$ となるから, 歯車Aが駆動側であり歯車Cが従動側となることが分かる. 従ってキャリアSを固定したときの基準かみ合い効率 η_0 は次式から求められる.

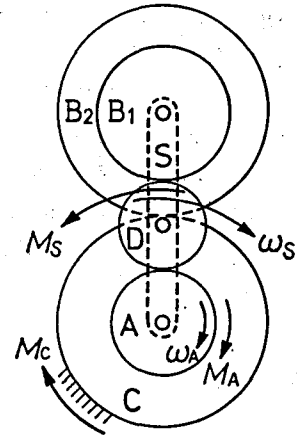


図5 機構に作用するトルクと角速度との関係

$$\eta_0 = \frac{M_C}{M_A} \left| \frac{\omega_C'}{\omega_A'} \right| = \frac{M_C}{M_A} \frac{1}{i_A} \quad (6)$$

そこで式(4)から

$$M_C = M_S - M_A \quad (7)$$

を得るから、これを式(6)に代入して次式を得る。

$$\begin{aligned} \eta_0 &= \frac{M_S - M_A}{M_A} \frac{1}{i_A} \\ \eta_0 M_A i_A &= M_S - M_A \\ M_A (\eta_0 i_A + 1) &= M_S \\ \therefore \frac{M_S}{M_A} &= \eta_0 i_A + 1 \end{aligned} \quad (8)$$

そしてこの式(8)を式(5)に代入して、この場合の機構全体の効率を求める理論計算式として次式を得る。

$$\eta = (\eta_0 i_A + 1) \frac{1}{1 + i_A} = \frac{\eta_0 i_A + 1}{1 + i_A} \quad (9)$$

いま歯車Aと歯車Dとのかみ合い効率を η_1 、歯車Dと歯車B₁とのかみ合い効率を η_2 、歯車B₂と歯車Cとのかみ合い効率を η_3 とすれば、キャリアSを固定した時の効率(基準効率) η_0 は次式で表される。

$$\eta_0 = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \quad (10)$$

同様な方法により、Cを固定しSを駆動してAを従動させる場合、Aを固定しCを駆動してSを従動させる場合、Aを固定しSを駆動してCを従動させる場合について速比と効率とを求める理論計算式を導き表2に一覧表として示す。

表2 速比と効率の理論計算式

駆動	従動	固定	速比 u	効率 η
A	S	C	$\frac{1}{1+i_A}$	$\frac{1+\eta_0 i_A}{1+i_A}$
S	A	C	$1+i_A$	$\frac{\eta_0(1+i_A)}{\eta_0+i_A}$
C	S	A	$\frac{i_A}{1+i_A}$	$\frac{\eta_0+i_A}{1+i_A}$
S	C	A	$\frac{1+i_A}{i_A}$	$\frac{\eta_0(1+i_A)}{1+\eta_0 i_A}$
A	C	S	$-\frac{1}{i_A}$	η_0
C	A	S	$-i_A$	η_0

4. 結 言

外歯車のみで機構が成立しているII型の2K-H型遊星歯車機構について、二つの遊星ピニオンの内の一方に中間遊星ピニオンをかみ合わせることにより、内歯車やかさ歯車を用いなくとも回転機能はこれらを用いた遊星歯車と同等となる改良型を考察した。そしてこの

改良Ⅱ型 2K-H型遊星歯車機構の速比と効率とを 求める理論計算式を導き、読者がその利用に際し適用を誤るおそれの無い便利な一覧表を作成した。

参 考 文 献

- 1) 両角宗晴：遊星歯車機構の効率評価の簡単な分かりよい方法 について、信州大学工学部紀要，31 (1947)，105.
- 2) 両角宗晴：差動歯車機構の効率計算式について（第1報，2K-H型差動歯車機構），信州大学工学部紀要，38 (1975)，45.
- 3) 両角宗晴：差動歯車機構の効率計算式について（第2報，3K型差動歯車機構），信州大学工学部紀要，40 (1976)，61.
- 4) 両角宗晴・岸佐年：K-H-V型歯車機構の効率および軸トルク計算式，信州大学工学部紀要，56 (1984)，33.
- 5) 両角宗晴：遊星歯車と差動歯車の理論と設計計算法，日刊工業新聞社 (1989)，7.